



BEST AVAILABLE COPY

(19)

(11) Publication number: 09083067 A

Generated Document.

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(21) Application number: 07240290

(51) Intl. Cl.: H01S 3/18

(22) Application date: 19.09.95

(30) Priority:

(43) Date of application publication: 28.03.97

(84) Designated contracting states:

(71) Applicant: OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(72) Inventor: HASHIMOTO SAKAE

(74) Representative:

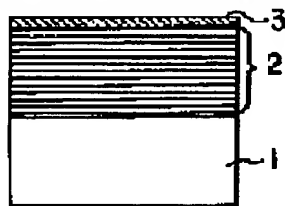
## (54) SEMICONDUCTOR LASER AND FABRICATION THEREOF

(57) Abstract:

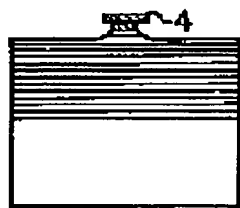
PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a semiconductor laser, and a fabrication method thereof, in which a basic lateral mode oscillation is generated stably at high output with low threshold value.

SOLUTION: The semiconductor laser comprises an n-DBR layer 2, a double hetero active layer 3, and a p-DBR layer 6 formed sequentially on an n-GaAs substrate 1. The double hetero active layer 3 is composed of a compound semiconductor where the peripheral part of oscillating region has different or smaller conductivity and smaller refractive index than those of the oscillating region.

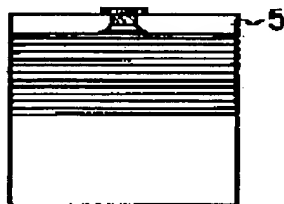
COPYRIGHT: (C)1997,JPO



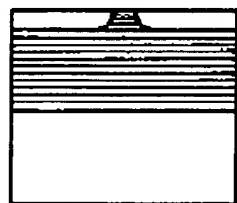
(a)



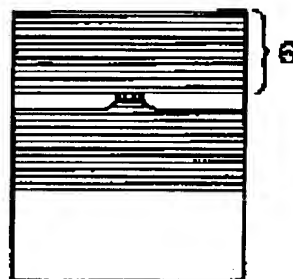
(b)



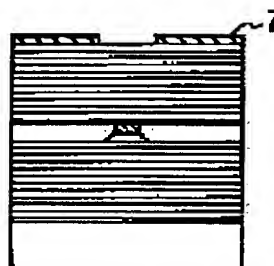
(c)



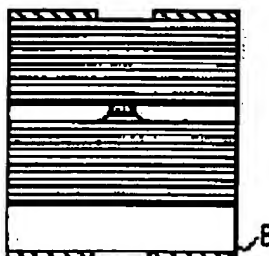
(d)



(e)



(f)



(g)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-83067

(43) 公開日 平成9年(1997)3月28日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 S 3/18

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 S 3/18

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号

特願平7-240290

(22) 出願日

平成7年(1995)9月19日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 橋本 栄

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

ンパス光学工業株式会社内

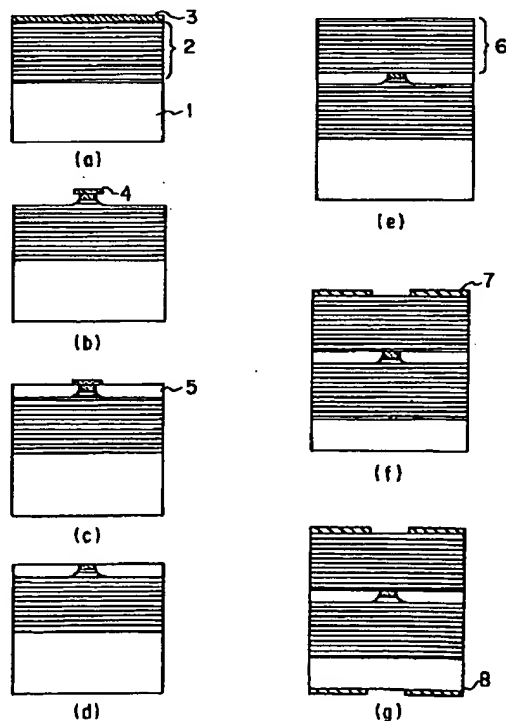
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高出力、低閾値且つ安定な基本横モード発振を可能とした半導体レーザ及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 この発明の半導体レーザは、 $n$ -GaAs 基板1と、上記 $n$ -GaAs 基板1上に積層された $n$ -DBR層2と、上記 $n$ -DBR層2上に積層され、その発振領域の周辺部が該発振領域に対して導電性が異なるか導電率が小さく且つ屈折率が小さい化合物半導体で構成されたダブルヘテロ活性層3と、上記ダブルヘテロ活性層3上に積層される $p$ -DBR層6とで構成されている。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】 半導体基板と、

上記半導体基板上に積層された第1導電型分布ブラッグ反射鏡層と、

上記第1導電型分布ブラッグ反射鏡層上に積層され、その発振領域の周辺部が該発振領域に対して導電性が異なるか導電率が小さく且つ屈折率が小さい化合物半導体で構成されたダブルヘテロ構造を有する活性層と、  
上記活性層上に積層される第2導電型分布ブラッグ反射鏡層と、を具備することを特徴とする半導体レーザ。

【請求項2】 半導体基板上に第1導電型分布ブラッグ反射鏡層とダブルヘテロ構造を有する活性層とを順次積層する第1の工程と、

上記活性層の少なくとも一部をメサの形状を残してエッチングにより選択的に除去する第2の工程と、

この除去部分に上記第1導電型分布ブラッグ反射鏡層及び第2導電型分布ブラッグ反射鏡層を少なくとも1組或いは高抵抗の半導体のいずれかを積層する第3の工程と、

上記活性層上に第2導電型分布ブラッグ反射鏡層を積層する第4の工程と、を有することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

## 【請求項3】 半導体基板と、

上記半導体基板上に積層された第1導電型クラッド層と、

上記第1導電型クラッド層の上に積層された活性層と、  
上記活性層の上に積層された第2導電型クラッド層と、  
少なくともその一部を上記活性層の自然放出光の光波長に対して高反射となる分布ブラッグ反射鏡構造で構成する電流狭窄層と、を具備することを特徴とする半導体レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば光インターコネクションや光センシングに用いられる垂直共振器型面発光半導体レーザやストライプ型の半導体レーザに係り、特に高出力、低閾値且つ安定な基本横モード発振可能な半導体レーザ及びその製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、化合物半導体を用いた光デバイスの一例としては半導体レーザ素子が知られており、既に実用に供されている。かかる半導体レーザ素子のうち、例えば垂直共振器型面発光半導体レーザは、一般に半導体基板上に第1導電型分布ブラッグ反射鏡(DBR:Distributed Bragg Reflector)層、ダブルヘテロ構造を有する活性層、第2導電型DBR層が積層された構成となっている。

【0003】例えば、文献「Journal of Vacuum Science Technology B12(2)」, p. 1258, Mar/Apr 1994」では、面

発光レーザの出射ビームを導波するために第2導電型DBR層をエッチングにより出射部のメサ形状を残して除去し、ポスト形状を形成することを特徴とする技術が開示されている。

【0004】この従来技術に係る垂直共振器型面発光半導体レーザの基本構成は図6に示される通りである。同図に示されるように、 $n\text{-GaAs}$ 基板41の上には、 $n\text{-GaAs}/\text{AlAs}$  DBR層42 (第1の導電型DBR層に相当)と活性層43、 $p\text{-GaAs}/\text{AlAs}$  DBR層44 (第2の導電型DBR層に相当)が順に積層されており、これらの上に更に $\text{AlGaAs}$ 光閉じ込め層45が一部を開口されて積層されている。上記 $\text{AlGaAs}$ 光閉じ込め層45上には、 $\text{SiN}$ 絶縁層46が上記 $\text{AlGaAs}$ 光閉じ込め層45と同様の開口を有して積層され、その上には $p$ -電極47が積層されている。

【0005】このような構造では、 $p\text{-GaAs}/\text{AlAs}$  DBR層44、活性層43、 $n\text{-GaAs}/\text{AlAs}$  DBR層44をポスト形状にエッチングし、また活性層43の側壁に活性層43よりも実効的に屈折率の低い材料を積層している。これにより、低閾値で低出力時において安全な基本横モード発振可能な垂直共振器型面発光レーザを実現している。

【0006】しかしながら、上述した垂直共振器型面発光半導体レーザは、多層膜反射鏡を構成する多数のヘテロ障壁を含み、さらに上記第2導電型DBR層がポスト、即ち円筒形状になっている為、素子のシリーズ抵抗が通常のストライプ型半導体レーザに比して約10倍以上高い。従って、連続動作で高出力化を狙う場合には、素子抵抗の増大、波長シフトが大きな障害となっていた。

【0007】かかる問題を改善する技術は、例えば文献「Journal of Vacuum Science Technology B, Vol. 12 (6), p. 3075, Nov/Dec 1994」に開示されている(以下、これを従来技術1と称する)。

【0008】この従来技術1に係る垂直共振器型面発光半導体レーザの基本構成は図7に示される通りである。同図に示されるように、 $n\text{-GaAs}$ 基板51の下部には $n$ -電極57が設けられており、 $n\text{-GaAs}$ 基板51の上部には $n\text{-GaAs}/\text{AlAs}$  DBR層52が積層されている。そして、当該 $n\text{-GaAs}/\text{AlAs}$  DBR層52の上部には、活性層53、水素イオン注入により形成された電流狭窄領域55が設けられている。さらに、これらの上には、 $p\text{-GaAs}/\text{AlAs}$  DBR層54が積層され、当該 $p\text{-GaAs}/\text{AlAs}$  DBR層54の上には、 $p$ -電極56が設けられている。

【0009】このような構造で従来技術1では、活性層の出射領域以外を水素イオン注入により高抵抗化して、電流狭窄をしており、 $p\text{-GaAs}/\text{AlAs}$  DBR層54をエッチングする必要がない。従って、 $p\text{-GaAs}/\text{AlAs}$  DBR層54上部全面に電極を形成でき、

## 3

素子抵抗の低い垂直共振器型面発光半導体レーザを実現することができる。

【0010】一方、低閾値、高効率のストライプ型半導体レーザの電流狭窄層には、活性層を構成する材料よりも実効的に低い屈折率の材料を用いることが一般的になされており、その一例は、例えば文献「Applied Physics Letter 58(16), 22, p. 1765, April 1991」に開示されている（以下、これを従来技術2と称する）。

【0011】この従来技術2に係るストライプ型半導体レーザの基本構成は図8に示される通りである。同図に示されるように、 $n$ -GaAs基板61の上部には、 $n$ -AlGaAsクラッド層62、活性層63、 $p$ -AlGaAsクラッド層64、 $p$ -コンタクト層65が順に積層されており、これらの上に電流狭窄兼閉じ込め層66が形成されている。

【0012】このような構造の従来技術2では、活性層63よりも実効的に屈折率の低い組成のAlGaAsを電流狭窄兼光閉じ込め層66に用いることにより、低閾値のストライプ型半導体レーザを実現している。

## 【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来技術1では、活性層53を水素イオン注入によって電流狭窄しているが、活性層53内の発振領域と電流狭窄領域55に実効的屈折率の差がないため、発振光の一部が吸収され出力の損失が生じていた。

【0014】さらに、上記従来技術2では、活性層63の側壁が活性層63に対して実効的に低屈折率材料で埋め込まれていても自然放光を吸収してしまい、効率よく発振できないといった問題があった。

【0015】本発明は上記問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、高出力、低閾値且つ安定な基本横モード発振を可能とする半導体レーザ及びその製造方法を提供することにある。

## 【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の第1の態様による半導体レーザは、半導体基板と、上記半導体基板上に積層された第1導電型分布ブラッグ反射鏡層と、上記第1導電型分布ブラッグ反射鏡層上に積層され、その発振領域の周辺部が該発振領域に対して導電性が異なるか導電率が小さく且つ屈折率が小さい化合物半導体で構成されたダブルヘテロ構造を有する活性層と、上記活性層上に積層される第2導電型分布ブラッグ反射鏡層とを具備することを特徴とする。

【0017】そして、第2の態様による半導体レーザの製造方法は、半導体基板上に第1導電型分布ブラッグ反射鏡層とダブルヘテロ構造を有する活性層とを順次積層する第1の工程と、上記活性層の少なくとも一部をメサの形状を残してエッチングにより選択的に除去する第2の工程と、この除去部分に上記第1導電型分布ブラッグ反射鏡層及び第2導電型分布ブラッグ反射鏡層を少なく

## 4

とも1組或いは高抵抗の半導体のいずれかを積層する第3の工程と、上記活性層上に第2導電型分布ブラッグ反射鏡層を積層する第4の工程とを有することを特徴とする。

【0018】さらに、第3の態様による半導体レーザは、半導体基板と、上記半導体基板上に積層された第1導電型クラッド層と、上記第1導電型クラッド層の上に積層された活性層と、上記活性層の上に積層された第2導電型クラッド層と、少なくともその一部を上記活性層の自然放光の光波長に対して高反射となる分布ブラッグ反射鏡構造で構成する電流狭窄層とを具備することを特徴とする。

【0019】このような第1乃至第3の態様による作用は以下の通りである。即ち、第1の態様による半導体レーザでは、活性層の発振領域の周辺部が該発振領域に対して導電性が異なるか導電率が小さく且つ屈折率が小さい化合物半導体で構成されている。

【0020】そして、第2の態様による半導体レーザの製造方法では、活性層の少なくとも一部がメサの形状を残してエッチングにより選択的に除去され、当該除去部分に第1導電型分布ブラッグ反射鏡層及び第2導電型分布ブラッグ反射鏡層を少なくとも1組或いは高抵抗の半導体のいずれかが積層されている。

【0021】さらに、第3の態様による半導体レーザでは、電流狭窄層の少なくとも一部が活性層の自然放光の光波長に対して高反射となる分布ブラッグ反射鏡構造で構成されている。

## 【0022】

【実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。図1(a)乃至(g)は、本発明の第1の実施の形態に係る垂直共振器型面発光半導体レーザの主な製造工程を示す図であり、各製造工程段階での断面図を示している。特に、図1(g)は本実施の形態の垂直共振器型面発光半導体レーザの構成を示している。この垂直共振器型面発光半導体レーザは、活性層の発振領域の周辺部が当該活性層と異なる化合物半導体で構成されている。

【0023】以下、図1(a)乃至(g)を参照して、第1の実施の形態に係る垂直共振器型面発光半導体レーザの製造工程を説明する。先ず $n$ -GaAs基板1上に、例えば有機金属気相成長(MOCVD; Metal Organic Chemical Vapor Deposition)により、 $n$ -GaAs/AlGaAsからなる $n$ -DBR層2、 $InGaAs$ /AlGaAs等からなるダブルヘテロ活性層3を順次積層する(図1(a)参照)。上記MOCVDとは、気相成長の一種であり、有機金属の熱分解を利用した化学反応でエピタキシャル成長が行われる。

【0024】続いて、 $SiO_2$ エッチング兼選択成長マスク4を低圧気相成長(LPCVD; Low Pressure Chemical Vapor Deposition)による成膜、フォトリソグラフィ、H

F系エッチング液によるウェットエッチングにより形成し、 $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$ 系のエッチング液によるウェットエッチングで活性層3を除去する(図1(b)参照)。尚、上記LPCVDは、低圧下で薄膜を作るもので、低圧の為、ガス分子どうしの衝突が減る結果、広い範囲にわたってガスの濃度が均一になり、その結果、成長する膜の厚さが均一になる。

【0025】次いで、再びMOCVDによりp-GaInP/n-GaInPからなる電流狭窄兼光閉じ込め層5を活性層3の上部と略同じ高さとなるまで形成する

(図1(c)参照)。そして、 $\text{SiO}_2$ エッチング兼選択成長マスク4を、HF系エッチング液によるウェットエッチングにより除去する(図1(d)参照)。上記ウェットエッチングでは、液体の薬品につけて所望とする部分を溶かす。

【0026】続いて、再びMOCVDにより、p-GaAs/AlGaAsからなるp-DBR層6を上記電流狭窄兼光閉じ込め層5の上に積層し(図1(e)参照)、p電極7を蒸留及びリフトオフにより形成し、基板の裏面側を研磨する(図1(f)参照)。こうして基板の裏面側にn電極8をリフトオフ及び蒸留により形成し、垂直共振器型面発光半導体レーザが完成される(図1(f)参照)。

【0027】このように製造された垂直共振器型面発光半導体レーザの動作を説明すると、高密度の電子と正孔が発生されると、誘導放出という光の増幅現象が活性層3で効率よく生じ、この活性層3に垂直に反射面となるDBR層2、6が設けられているので、光は折り返し往復する間に増幅され、光の往復経路に含まれる損失に打ち勝つようになり、レーザ発振が生じる。即ち、電流を流すと光増幅の利得が増えて損失に打ち勝つようになり、レーザ発振が生じることになる。

【0028】以上説明したように、第1の実施の形態では、第2導電型DBRをエッチングにより除去することなく、且つ活性層の出射領域と埋め込まれた電流狭窄領域をエッチングにより完全に分離できる。また、電流狭窄領域を活性層の材料に比して実効的に屈折率の低い材料で埋め込むことができる。

【0029】また、第1の実施の形態では、電流狭窄兼光閉じ込め層5をp-GaInP/n-GaInPで構成したが、活性層からの自然放出光に対して高反射となる、例えばGaInP/GaAsDBR層で構成すると、自然放出光を再びレーザ発振に寄与させるフォトリサイクリングにより閾値電流の低い垂直共振器型面発光半導体レーザを提供することができる。

【0030】次に図2(a)乃至(e)、図3(a)、(b)は、本発明の第2の実施の形態に係る垂直共振器型面発光半導体レーザの主な製造工程を示す図であり、各製造工程段階での断面図を示している。特に、図3

(b)は本実施の形態の垂直共振器型面発光半導体レー

ザの構成を示している。

【0031】以下、図2(a)乃至(e)、図3

(a)、(b)を参照して、第2の実施の形態に係る垂直共振器型面発光半導体レーザの製造工程を説明する。前述した図1(a)乃至(e)の製造工程により図2

(a)が製造される。尚、図2(a)において、符号11はn-GaAs基板、12はGaAs/AlGaAsからなるn-DBR層、13はInGaAs/AlGaAs等からなるダブルヘテロ活性層、14は $\text{SiO}_2$ エッチング兼選択成長マスク、15はp-GaInP/n-GaInPからなる電流狭窄兼光閉じ込め層、16はp-GaAs/AlGaAsからなるp-DBR層である。

【0032】次に、 $\text{SiO}_2$ エッチングマスク16をLPCVDによる成膜、フォトリソグラフィ、 $\text{CF}_4$ 系反応性イオンエッチング(RIE; Reactive Ion Etching)により形成する(図2(b)参照)。上記 $\text{CF}_4$ 系RIEは、放電下で $\text{CF}_4$ がラジカル以外に陽イオンも生成することに鑑み、陰極に試料を置き上記陽イオンを電界で加速して試料表面を衝撃させて試料を変質することで、早くエッチングされる変質層を生成し異方性エッチングをするものである。

【0033】続いて、リアクティブ・イオンビーム・エッチング(RIBE; Reactive Ion Beam Etching)によりp-DBR層14の出射領域の周辺部16aを活性層に達しない深さまで溝状にエッチングして溝部17を形成する(図2(c)参照)。そして、ポリイミド膜18を塗布し、溝部17を埋め(図2(d)参照)、ポリイミド膜18を酸素プラズマアッシャにより、 $\text{SiO}_2$ エッチングマスク16が露出するまでエッチバックする(図2(e)参照)。

【0034】次いで、 $\text{SiO}_2$ エッチングマスク16を、HF系エッチング液によるウェットエッチングにより除去し、p電極19を蒸留及びリフトオフにより形成し、基板11の裏面側を研磨する(図3(a)参照)。こうして、基板11の裏面側にn電極20を蒸着及びリフトオフにより形成し、垂直共振器型面発光半導体レーザが完成される(図3(b)参照)。

【0035】このように製造された本実施の形態の動作は前述した第1の実施の形態と基本的には同様である為、説明を省略する。以上説明したように、第2の実施の形態では、第2導電型DBR層の出射光の導波領域の周辺部を垂直溝状に除去することにより、素子抵抗をほとんど増大させることなく、高出力、低閾値で安定な基本横モード発振可能な垂直共振器型面発光半導体レーザを提供する。

【0036】次に図4(a)乃至(g)は、本発明の第3の実施の形態に係る垂直共振器型面発光半導体レーザの主な製造工程を示す図であり、各製造工程段階での断面図を示している。特に、図4(g)は本実施の形態の

垂直共振器型面発光半導体レーザの構成を示している。

【0037】以下、図4(a)乃至(g)を参照して、第3の実施の形態に係る垂直共振器型面発光半導体レーザの製造工程を説明する。先ず、 $n$ -GaAs基板21上に、例えばMOCVDにより $n$ -GaAs/AlGaAsからなる $n$ -DBR層22、InGaAs/AlGaAs等からなるダブルヘテロ活性層23を順次積層する(図4(a)参照)。

【0038】次いで、SiO<sub>2</sub>エッチング兼選択成長マスク24をLPCVDによる成膜、フォトリソグラフィ、CF<sub>4</sub>系RIEにより形成し、RIEで活性層23を側壁が垂直になるよう除去する(図4(b)参照)。上記LPCVDは、低圧下で薄膜を作るもので、低圧の為、ガス分子どうしの衝突が減る結果、広範囲に亘ってガスの濃度が均一になり、その結果、成長する膜の厚さが均一になる。

【0039】続いて、再びMOCVDにより $p$ -GaInP/ $n$ -GaInPからなる電流狭窄兼光閉じ込め層25を活性層上部と略同じ高さになるまで形成する(図4(c)参照)。次いで、SiO<sub>2</sub>エッチング兼選択成長マスク24をHF系エッチング液によるウェットエッチングにより除去する(図4(d)参照)。

【0040】次いで、再びMOCVDにより、 $p$ -GaAs/AlGaAsからなる $p$ -DBR層26を積層し(図4(e)参照)、 $p$ 電極27を蒸留及びリフトオフにより形成し、基板21の裏面側を研磨し(図4(f)参照)、基板21の裏面側に $n$ 電極28を蒸着及びリフトオフにより形成し、こうして垂直共振器型面発光半導体レーザが完成される(図4(g)参照)。

【0041】このように製造された本実施の形態の動作は前述した第1の実施の形態と基本的には同様である為、説明を省略する。以上説明したように、第3の実施の形態では、活性層の出射領域以外を垂直に除去することにより、工程中1回のエッチング加工で素子抵抗をほとんど増大させることなく、高出力、低閾値で安定な基本横モード発振可能な垂直共振器型面発光半導体レーザを提供する。

【0042】次に図5(a)乃至(f)は、本発明の第4の実施の形態に係るストライプ型半導体レーザの主な製造工程を示す図であり、各製造工程段階での断面図を示している。特に、図5(f)は本実施の形態のストライプ型半導体レーザの構成を示している。この半導体レーザは、活性層の側壁が活性層からの自然放出光の光波長に対して高反射となるDBR構造で埋め込まれていることを特徴とする。

【0043】以下、図5(a)乃至(f)を参照して、第4の実施の形態に係るストライプ型半導体レーザの製造工程を説明する。先ず、 $n$ -GaAs基板31の上に、例えばMOCVDにより、 $n$ -GaAsバッファ層32、 $n$ -AlGaAsクラッド層33、GaAs/A

lGaAs等からなるダブルヘテロ活性層34、 $p$ -AlGaAsクラッド層35、 $p$ -GaAsコンタクト層36を順次積層する(図5(a)参照)。

【0044】続いて、SiO<sub>2</sub>エッチング兼選択成長マスク37をLPCVDによる成膜、フォトリソグラフィ、HF系エッチング液によるウェットエッチングにより形成する(図5(b)参照)。

【0045】次いで、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O系のエッチング液によるウェットエッチングでメサ形状を残して、 $p$ -GaAsコンタクト層36、 $p$ -AlGaAsクラッド層35、ダブルヘテロ活性層34を除去し、再びMOCVDにより $p$ -GaInP/ $n$ -GaAsからなる活性層の光波長に対して高反射となるDBR層38aで構成された電流狭窄兼光閉じ込め層38をコンタクト層36と略同じ高さとなるまで形成する(図5(c)参照)。

【0046】続いて、SiO<sub>2</sub>エッチング兼選択成長マスク37を、HF系エッチング液によるウェットエッチングにより除去する(図5(d)参照)。そして、 $p$ 電極39を蒸着により形成し、基板31の裏面側を研磨し(図5(e)参照)、基板31の裏面側に $n$ 電極40を蒸着により形成し、こうしてストライプ型半導体レーザが完成される(図5(f)参照)。

【0047】以上説明したように、第4の実施の形態では、活性層の側壁が活性層からの自然放出光の光波長に対して高反射となるDBR構造の化合物半導体で埋め込まれている為、放熱特性が良好で自然放出光を再びレーザ発振に寄与させるフォトンリサイクリングにより、閾値電流の低い半導体レーザを提供する。

【0048】以上、本発明の実施の形態について説明したが、本発明はこれに限定されることなく、その趣旨を逸脱しない範囲で種々の改良・変更が可能であることは勿論である。例えば、上記実施の形態では、発明の理解を容易にするために、配置関係、材料その他について特定条件を例示して説明したが、これら条件のみに限定されるものではないことは勿論である。

【0049】尚、本発明の要旨をまとめると以下のようになる。

(1) 半導体基板と、上記半導体基板上に積層された第1導電型分布ブラッグ反射鏡層と、上記第1導電型分布ブラッグ反射鏡層上に積層され、その発振領域の周辺部が該発振領域に対して導電性が異なるが導電率が小さく且つ屈折率が小さい化合物半導体で構成されたダブルヘテロ構造を有する活性層と、上記活性層上に積層される第2導電型分布ブラッグ反射鏡層とを具備することを特徴とする垂直共振器型面発光半導体レーザ。

【0050】この態様は、第1乃至第3の実施の形態に対応するものであり、上述の活性層とは第1導電型分布ブラッグ反射鏡層と第2導電型分布ブラッグ反射鏡層に挟まれた層全体を指している。

【0051】この態様によれば、活性層のみを選択的に電流狭窄及び光閉じ込め可能な構造を採ることができる為、素子抵抗が低く、高出力、低閾値の垂直共振器型面発光半導体レーザを提供することができる。

(2) 半導体基板上に第1導電型分布ブラッグ反射鏡層とダブルヘテロ構造を有する活性層とを順次積層する第1の工程と、上記活性層の少なくとも一部をメサの形状を残してエッチングにより選択的に除去する第2の工程と、この除去部分に上記第1導電型分布ブラッグ反射鏡層及び第2導電型分布ブラッグ反射鏡層を少なくとも1組或いは高抵抗の半導体のいずれかを積層する第3の工程と、上記活性層上に第2導電型分布ブラッグ反射鏡層を積層する第4の工程とを有することを特徴とする垂直共振器型面発光半導体レーザの製造方法。

【0052】この態様は、第1及び第2の実施の形態に対応するものであり、上述した「エッチング」はドライエッチング、ウェットエッチングのいずれであってもよい。更に「上記第1導電型分布ブラッグ鏡層、活性層を順次積層した後」とあるのは、「上記第1導電型分布ブラッグ鏡層、活性層、第2導電型分布ブラッグ鏡層の一部を順次積層した後」といった意味も含む。また、「活性層の少なくとも一部」とあるのは、「活性層及び第1導電型分布ブラッグ鏡層」なども含む。

【0053】この態様によれば、第2導電型分布ブラッグ鏡層をエッチングにより除去することがなく、且つ、活性層の出射領域と埋め込まれた電流狭窄領域をエッチングにより完全に分離できる。また、電流狭窄領域を活性層の材料に比して実効的に屈折率の低い材料で埋め込むことができる為、高出力、低閾値の垂直共振器型面発光半導体レーザを提供することができる。

(3) 半導体基板と、第1導電型分布ブラッグ反射鏡層と、ダブルヘテロ構造を有する活性層と、第2導電型分布ブラッグ反射鏡層とを具備し、上記活性層の発振領域の周辺部が、該活性層に対して導電率が異なるか導電率が小さく、且つ活性層からの自然放出光の光波長に対して高反射となる分布ブラッグ反射鏡構造の化合物半導体で構成され、上記活性層の発振領域とその周辺部の下面及び上面には、上記第1導電型分布ブラッグ反射鏡層と第2導電型分布ブラッグ反射鏡層とが配置されることを特徴とする垂直共振器型面発光半導体レーザ。

【0054】この態様は上記第1の実施の形態に対応するものであり、活性層の自然放出光の光波長に対して高反射とあるのは、DBR構造の化合物半導体の分光反射率のピークが活性層の自然放出光の光波長に近接していることを意味している。また、DBR構造の化合物半導体とは、その中に少なくとも一対以上のDBR構造を含んでいれよい。

【0055】この態様によれば、活性層の側壁は、活性層からの自然放出光の光波長に対して高反射となるDBR構造で埋め込まれているため、自然放出光を再びレー

ザ発振に寄与させるフォトンリサイクリングにより閾値電流の低い垂直共振器型面発光半導体レーザを提供することができる。

(4) 第2導電型分布ブラッグ反射鏡層を出射光の導波領域の周辺部を活性層まで達しない深さまで、垂直溝状に除去していることを特徴とする上記(1)又は(3)に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ。

【0056】この態様は、上記第2の実施の形態に対応するものであり、上述のなかで、垂直溝状とあるのは、少なくとも第2導電型DBR層の出射光の導波領域の側壁の一部が垂直であればよい。

【0057】この態様によれば、第2導電型DBR層の出射光の導光領域の周辺部を垂直溝状に除去することにより、素子抵抗をほとんど増大させることなく、高出力、低閾値で安定な基本横モード発振可能な垂直共振器型面発光半導体レーザを提供することができる。

(5) 上記活性層の側壁の少なくとも一部が垂直なメサ形状であることを特徴とする上記(1)、(3)、

(4)に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ。

【0058】この態様は第3の実施の形態に対応するものであり、上述のなかで、「活性層の少なくとも一部」とあるのは「活性層及び第1導電型DBR層」なども含む。この態様によれば、出射領域以外を垂直に除去することにより、工程中1回のエッチング加工で素子抵抗をほとんど増大させることなく、高出力、低閾値で安定な基本横モード発振可能な垂直共振器型面発光半導体レーザを提供することができる。

(6) 半導体基板と、上記半導体基板上に積層された第1導電型クラッド層と、上記第1導電型クラッド層の上に積層された活性層と、上記活性層の上に積層された第2導電型クラッド層と、少なくともその一部を上記活性層の自然放出光の光波長に対して高反射となる分布ブラッグ反射鏡構造で構成する電流狭窄層とを具備することを特徴とする半導体レーザ。

【0059】この態様は、上記第4の実施の形態に対応するものであり、上述の中で、活性層の自然放出光の光波長に対して高反射とあるのは、DBR構造の化合物半導体の分光反射率のピークが、活性層の自然放出光の光波長に近接していることを意味する。また、DBR構造の化合物半導体とは、その中に少なくとも一対以上のDBR構造を含んでいれよい。また、半導体レーザには端面出射型半導体レーザと垂直共振器型面発光半導体レーザが含まれる。

【0060】この態様によれば、活性層の側壁が、活性層からの自然放出光の光波長に対して高反射となるDBR構造の化合物半導体で埋め込まれているため、放熱特性が良好で自然放出光を再びレーザ発振に寄与させるフォトンリサイクリングにより閾値電流の低い半導体レーザを提供することができる。

(7) 半導体基板と、第1導電型クラッド層と、活性層



と、第2導電型クラッド層とを具備する半導体レーザの製造方法であって、上記活性層の少なくとも一部をメサの形状を残してエッチングにより選択的に除去する工程と、この除去した活性層の側壁に活性層の自然放出光の光波長に対して高反射となる分布ブラッグ反射鏡層を積層する工程とを有することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【0061】この態様は上記第4の実施の形態に対応するものであり、上述の中で「エッチング」とあるのは、ウェットエッチング、ドライエッチングのいずれであっても良い。

【0062】この態様によれば、活性層の側壁が活性層からの自然放出光の光波長に対して高反射となるDBR構造で埋め込まれているため、自然放出光を自然放出光を再びレーザ発振に寄与させるフォトンリサイクリングにより閾値電流の低い半導体レーザを提供することができる。

【0063】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、高出力、低閾値且つ安全な基本横モード発振可能な半導体レーザ及びその製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る垂直共振器型面発光半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

【図2】本発明の第2の実施の形態に係る垂直共振器型

面発光半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

【図3】本発明の第2の実施の形態に係る垂直共振器型面発光半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

【図4】本発明の第3の実施の形態に係る垂直共振器型面発光半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

【図5】本発明の第4の実施の形態に係るストライプ型半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

【図6】従来技術に係る垂直共振器型面発光半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

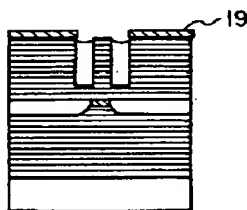
10 【図7】従来技術に係る垂直共振器型面発光半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

【図8】従来技術に係るストライプ型半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

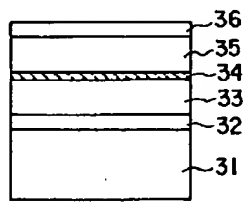
【符号の説明】

1, 11, 21, 31... $n$ -GaAs基板、2, 12, 22... $n$ -DBR層、3, 13, 23, 34...ダブルヘテロ活性層、4, 14, 24, 37... $\text{SiO}_2$ エッチング兼選択成長マスク、5, 15, 25, 38...電流狭窄兼光閉じ込め層、6, 16, 26... $p$ -DBR層、7, 19, 27, 39... $p$ 電極、8, 20, 28, 40... $n$ 電極、17...溝部、18...ポリイミド膜、32... $n$ -GaAsバッファ層、33... $n$ -AlGaAsクラッド層、35... $p$ -AlGaAsクラッド層、36... $p$ -GaAsコンタクト層。

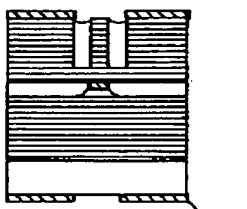
【図3】



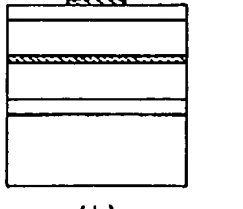
(a)



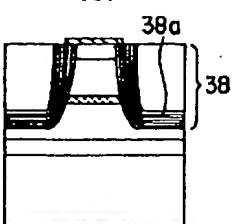
(a)



(b)

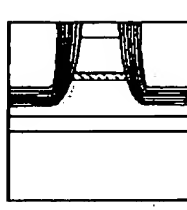


(b)

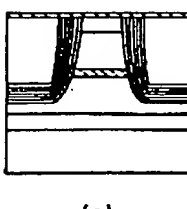


(c)

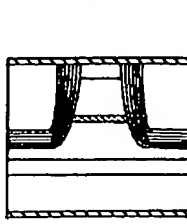
【図5】



(d)

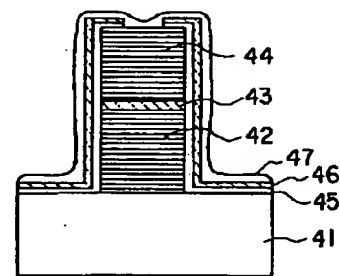


(e)



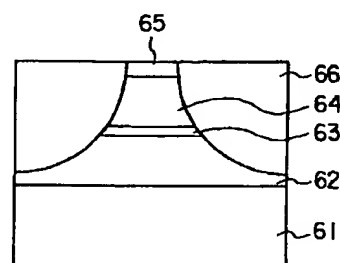
(f)

【図6】



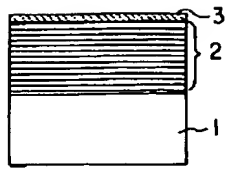
出射光

【図8】

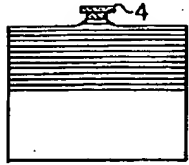




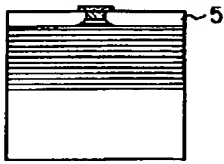
【図1】



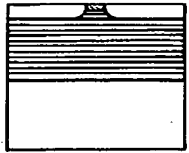
(a)



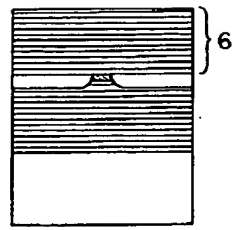
(b)



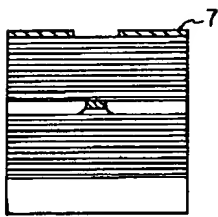
(c)



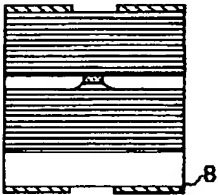
(d)



(e)

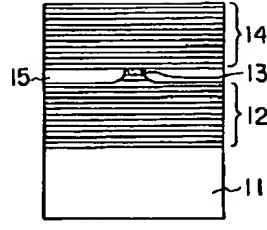


(f)

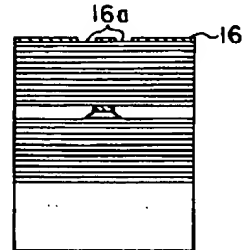


(g)

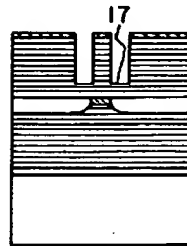
【図2】



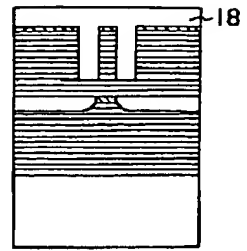
(a)



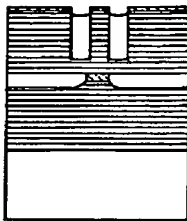
(b)



(c)

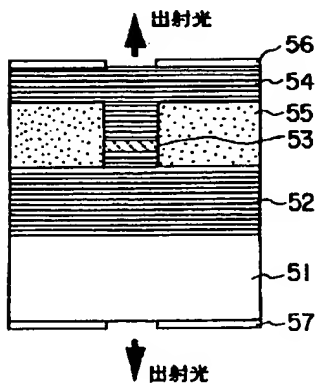


(d)

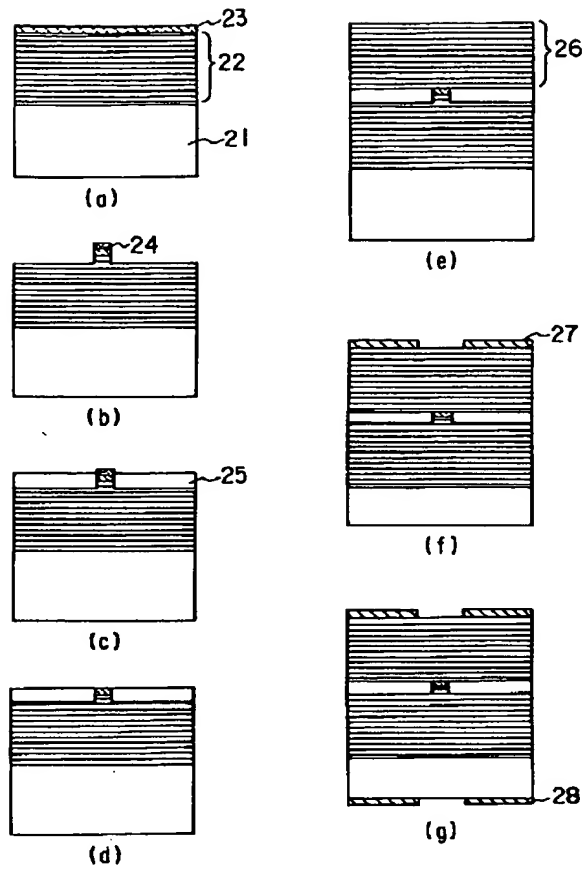


(e)

【図7】



【図4】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**